

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistim Jaringan Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem energi listrik. Sistem distribusi ini berguna dalam menyalurkan energi listrik dari sumber listrik yang besar (Large Power Sources) ke konsumen. Oleh karena itu fungsi distribusi tenaga listrik adalah : 1) menyalurkan atau menyalurkan tenaga listrik ke beberapa lokasi (pelanggan) dan 2) merupakan subsistem energi listrik yang langsung terhubung dengan pelanggan, karena penyaluran tenaga listrik ke pusat-pusat beban (pelanggan) adalah dilakukan langsung melalui jaringan distribusi.[5].

Tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit listrik besar dengan taraf tegangan 11 kV sampai 24 kV dinaikkan oleh gardu induk dengan trafo step-up menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi beban. Tujuan dari kenaikan tegangan adalah untuk memperkecil rugi-rugi daya pada saluran transmisi, dalam hal ini rugi-rugi daya sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2.R$). Dengan daya yang sama, jika nilai tegangan bertambah maka arus yang mengalir akan semakin kecil sehingga rugi-rugi daya juga kecil [5].

Dari saluran transmisi tegangan diturunkan kembali menjadi 20 kV melalui trafo penurun tegangan pada stasiun distribusi, kemudian dengan sistem tegangan ini penyaluran tenaga listrik dilakukan melalui saluran distribusi primer hibah. Dari saluran distribusi primer inilah stasiun distribusi akan mengambil tegangan untuk menurunkan tegangan tersebut dengan menggunakan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah yaitu 220/380Volt. Kemudian didistribusikan melalui saluran distribusi sekunder ke konsumen. Oleh karena itu, jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian penting dari sistem tenaga listrik secara keseluruhan [5].

Pada umumnya sistem distribusi tenaga listrik di Indonesia terdiri atas beberapa bagian, sebagai berikut :

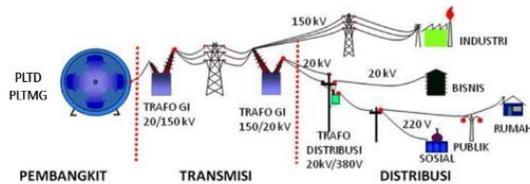
1. Gardu Induk (GI)
2. Jaringan Tegangan Menengah (TM) / Distibusi Primer

3. Gardu Distribusi (GD)
4. Jaringan Tegangan Rendah (TR) / Distribusi Sekunder
Gardu induk akan menerima daya dari jaringan transmisi kemudian menyalurkannya melalui jaringan distribusi primer menuju gardu distribusi.

PROSES BISNIS



SISTEM PLN PUSAT



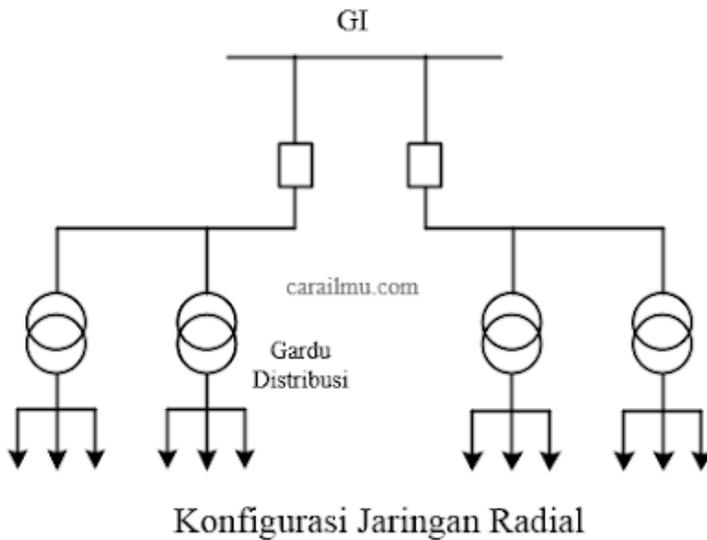
www.pln.co.id | 01

Gambar 2. 1 Sistim jaringan distribusi

2.2 Beberapa Tipe Sistem Jaringan Distribusi Primer

2.2.1 Sistem Radial

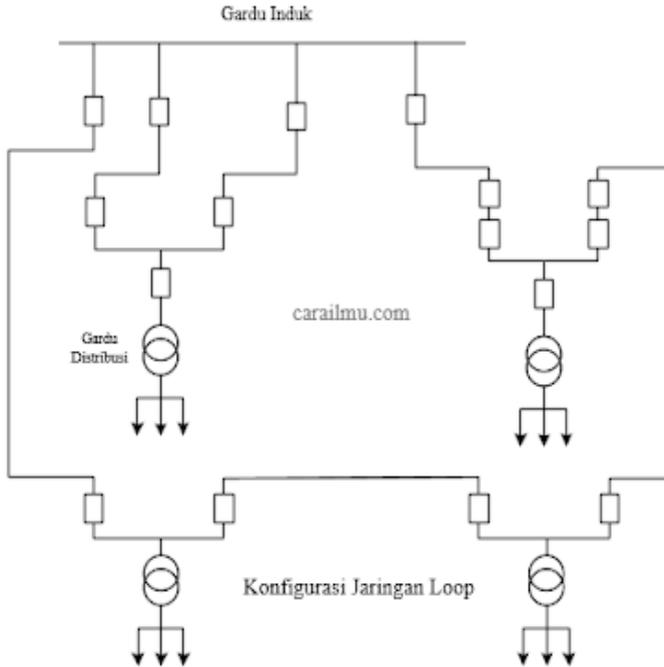
Sistem radial hanya memiliki satu sumber dan satu pengisi daya. Apabila terjadi gangguan pada salah satunya (sumber atau catu daya), maka seluruh beban yang dilayani oleh jaringan ini akan dimatikan. Nilai keandalan sistem radial ini rendah. Keandalan sistem memenuhi kontinuitas tingkat 1 dan umumnya sesuai dengan jaringan eksternal.



Gambar 2.2 Konfigurasi Jaringan Radial

2.2.2 Sistem Lingkar (Loop/Ring)

Sistem loop ini merupakan gabungan dari dua sistem radial. Secara umum pengoperasian normal sistem ini hampir sama dengan pengoperasian normal sistem radial. Sistem ini menunjukkan keandalan dan kontinuitas yang lebih baik dibandingkan sistem radial. Memang benar, jumlah sumber dan jumlah keberangkatan dalam suatu jaringan lebih besar dari satu. Pada sistem ini terdapat dua sumber dan arah pengisian yang salah satunya dapat digunakan sebagai sumber cadangan sehingga tingkat keandalannya cukup tinggi. Sistem ini banyak digunakan di jaringan publik rumah sakit, pusat pemerintahan dan instansi serta industri penting lainnya.



Gambar 2.3 Konfigurasi Jaringan Loop

2.2.3 Sistem Spindle

Sistem merupakan modifikasi dari sistem cincin (ring/ring) yang terdiri dari beberapa sistem radial. Sistem ini terdiri dari beberapa jalur pengumpan, masing-masing berasal dari gardu induk utama dan terminal-terminalnya dihubungkan ke gardu induk switching. Feeder terbagi menjadi dua jenis yaitu :

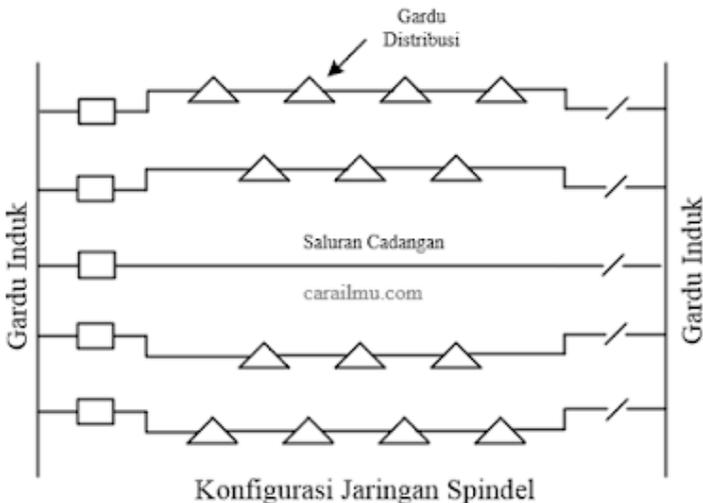
1. Penyulangerja/ working feeder

Peralatan listrik digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari sumber generator ke konsumen, sehingga peralatan listrik tersebut beroperasi di bawah tegangan dan bermuatan.

Pengoperasian normal loader ini hampir sama dengan sistem radial

2. Penyulang cadangan/ express feeder

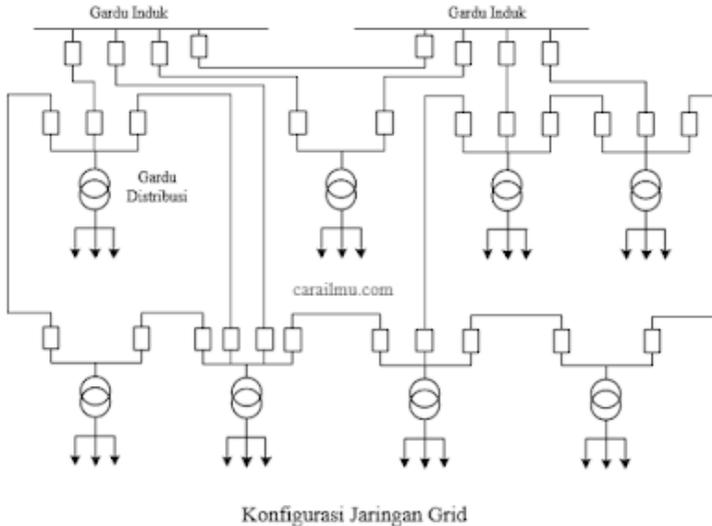
Catu daya menghubungkan gardu induk langsung ke gardu switching dan tidak dibebani oleh gardu distribusi. Dalam pengoperasian normal, catu daya ini tidak ditenagai oleh arus beban dan hanya beroperasi sebagai catu daya darurat untuk menyuplai sejumlah catu daya yang gagal di stasiun switching. Jaringan ini memenuhi kontinuitas level 2 dan jika dilengkapi dengan perangkat kendali jarak jauh dapat mencapai level 3. Jika seluruh pelanggan (stasiun konsumen) dilengkapi dengan perangkat kendali jarak jauh, jaringan ini dapat mencapai kontinuitas level 4. Jaringan ini dipasang di kota-kota. memiliki tingkat muatan yang sangat tinggi.



Gambar 2.4 Konfigurasi Jaringan Spindle

2.2.4 Sistem Gugus (Mesh/Grid)

Konfigurasi cluster banyak digunakan untuk kota-kota besar dengan kepadatan beban tinggi. Pada sistem ini terdapat pemutus arus beban dan pengisi daya cadangan. Ketika pengisi daya darurat ini beroperasi jika salah satu pengisi daya konsumen rusak, pengisi daya darurat ini menggantikan fungsi yang diberikan kepada konsumen.



Gambar 2.5 Konfigurasi Jaringan Grid

2.3 Sistem Proteksi Distribusi Tenaga Listrik

Secara umum sistem proteksi adalah suatu perangkat yang berperan dalam mencegah gangguan pada sistem kelistrikan. Sistem proteksi ini melindungi saluran atau jaringan dan peralatan listrik dari kerusakan dengan menghilangkan (mengisolasi) gangguan yang terjadi secara cepat dan akurat. Peralatan sistem proteksi trafo daya 150/20 kV. Sistem proteksi instalasi listrik terdiri dari komponen-komponen yang membentuk satu kesatuan untuk mengatasi gangguan. Kerja komponen-komponen tersebut berputar tergantung tugas dan fungsinya. Komponen ini meliputi relai proteksi, trafo arus

(CT), perkabelan, catu daya DC (baterai), pemutus arus (PMT). Sistem proteksi yang terdapat pada sistem tenaga listrik dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu :

1. Proteksi primer : Proteksi sistem tenaga listrik akan beroperasi pada saat pertama kali terdeteksi adanya gangguan.
Jika terjadi gangguan, perlindungan ini akan mencegah kerusakan pada perangkat dan meminimalisir gangguan menyebar ke perangkat lain.
2. Proteksi cadangan Fitur proteksi cadangan ini akan beroperasi jika proteksi utama gagal, dengan penundaan untuk memberikan kesempatan proteksi utama beroperasi terlebih dahulu agar tidak terjadi kegagalan proteksi.
Proteksi ini dibedakan menjadi dua jenis yaitu:

Local Backup yang mana proteksi cadangannya ditempatkan pada lokasi yang sama dengan proteksi utama, dan Remote Backup yaitu dimana proteksi cadangan ditempatkan pada lokasi yang berbeda dari proteksi utama.
perlindungan.

2.3.1 Tujuan Sistem Proteksi

1. Untuk menghindari atau meminimalkan gangguan kerusakan pada peralatan atau perlengkapan yang terganggu yang dilalui arus gangguan.
2. Cari (isolasi) daerah yang terganggu sekecil mungkin.
3. Dapat memberikan layanan kelistrikan yang sangat andal kepada konsumen. Dan meminimalkan bahaya bagi manusia.

2.3.2 Fungsi Pengaman

Keberhasilan suatu sistem dapat diperhatikan dari kontinuitas pelayanannya. Kontinuitas pelayanannya. Kontinuitas pelayanannya baik jika adanya gangguan dapat diatasi sebaik mungki dan tidak merusak peralatan pada sistem distribusi. Daerah gangguan dapat dilokalisir

sekecil mungkin, sehingga pemutusan dapat ditekan sedikit mungkin. Oleh karena itu diperlukan sistem pengamanan untuk sistem distribusi. Fungsi sistem pengamanan pada suatu sistem distribusi energi listrik adalah:

1. Untuk menghindari atau meminimalkan kerusakan peralatan listrik akibat gangguan, maka semakin cepat reaksi peralatan sistem proteksi yang digunakan maka semakin kecil pengaruh gangguan tersebut terhadap kerusakan peralatan listrik dalam jaringan.
2. Tentukan luas areal yang terganggu agar sesempit mungkin.
3. Memberikan pelayanan ketenagalistrikan yang sangat handal kepada konsumen.
4. Melindungi masyarakat dari resiko listrik.

2.3.4 Macam-Macam Pengaman Jaringan Distribusi

2.3.4.1 Circuit Breaker (Pemutus Tenaga)

Ini adalah perangkat yang dipasang di stasiun trafo utama, digunakan untuk menghubungkan dan memutuskan arus beban dan arus bocor.

Jenis PMT :

- A. Berdasarkan media pemadam api busur :
 - PMT menggunakan bahan bakar minyak sebagai media pemadam kebakaran
 - PMT menggunakan gas SF₆ sebagai media pemadam kebakaran.
 - PMT menggunakan udara yang dihembuskan sebagai media pemadam kebakaran.
 - PMT menggunakan sistem vakum sebagai alat pemadam kebakaran.
- B. Berdasarkan jenis penggerak:
 - PMT dengan penggerak Pegas

- PMT dengan penggerak Udara/Pneumatis
- PMT dengan penggerak Hidrolis

2.3.4.2 LBS (Load Break Switch)

LBS (Load Break Switch) adalah saklar pemutus beban yang digunakan pada jaringan yang memerlukan pemadaman listrik atau koneksi manual dari satu jaringan ke jaringan lainnya. Menggunakan LBS memungkinkan Anda menargetkan area yang mengalami pemadaman listrik karena gangguan atau perbaikan jaringan.

2.3.5 Persyaratan Sistem Proteksi

Ketika merencanakan dan menggunakan komponen sistem proteksi, untuk memiliki sistem proteksi yang baik, persyaratan berikut harus dipenuhi: sensitivitas, keandalan, kecepatan, selektivitas, ekonomi.

Oleh karena itu kontinuitas penyaluran tenaga listrik banyak tergantung pada kualitas sistem jaringan distribusi itu sendiri, Makin kompleks konfigurasi jaringan distribusi (seperti bentuk network atau mesh) makin banyak peralatan yang digunakan.

2.4 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan Hubung Singkat Hubung singkat adalah terjadinya hubungan penghantar bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung melalui media (resistor/beban) yang semestinya sehingga terjadi aliran arus yang tidak normal (sangat besar). Hubung singkat merupakan jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik, terutama pada saluran 3 fasa. Arus hubung singkat yang begitu besar sangat membahayakan peralatan, sehingga untuk mengamankan peralatan dari kerusakan akibat arus hubung singkat maka hubungan kelistrikan pada bagian yang terganggu perlu diputuskan dengan peralatan pemutus tenaga atau Circuit Breaker (CB). Perhitungan arus hubung singkat sangat penting untuk

menentukan kemampuan pemutus tenaga dan untuk koordinasi pemasangan relai proteksi[6].

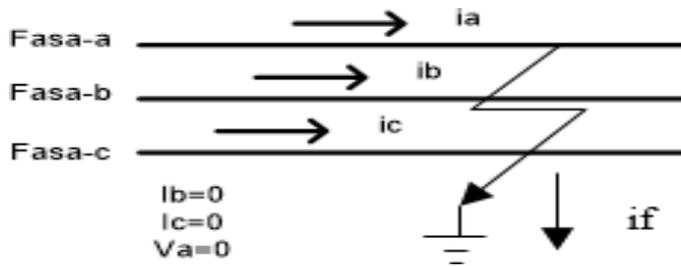
Gangguan hubung singkat merupakan suatu kondisi pada sistem tenaga dimana penghantar yang berarus terhubung dengan penghantar lain atau dengan tanah. Gangguan hubung singkat dapat menimbulkan arus yang jauh lebih besar dari arus kondisi dimana sistem tenaga listrik dalam keadaan normal. Bila gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung dengan lama pada suatu sistem daya listrik, maka akan berpengaruh yang tidak diinginkan yang dapat terjadi[7]. Gangguan hubung singkat diklasifikasi dalam empat jenis, yaitu:

Hubungan pendek merupakan salah satu jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem kelistrikan, khususnya pada saluran tiga fasa. Jenis gangguan yang terjadi pada saluran tiga fasa adalah:

1. Gangguan hubung singkat tiga fasa
2. Gangguan hubung singkat dua fasa
3. Gangguan hubung singkat satu fasa ke bumi

2.4.1 Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah

Gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik merupakan gangguan asimetris sehingga memerlukan metode komponen simetris untuk menganalisis tegangan dan arus pada saat gangguan terjadi. Gangguan yang terjadi dapat dianalisis dengan menghubungkan-singkat semua sumber tegangan yang ada pada sistem dan mengganti titik (*node*) gangguan dengan sebuah sumber tegangan yang besarnya sama dengan tegangan sesaat sebelum terjadinya gangguan di titik gangguan tersebut [8]. Dengan menggunakan metode ini sistem tiga fasa tidak seimbang dapat dioptimalkan dengan menggunakan teori komponen simetris yaitu berdasarkan komponen urutan positif, komponen urutan negatif dan komponen urutan nol.



Gambar 2.6 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Keterangan :

- Va = Tegangan pada fasa a
- Ia = Arus yang mengalir pada fasa a (A)
- Ib = Arus yang mengalir pada fasa b (A)
- Ic = Arus yang mengalir pada fasa c (A)
- If = Arus yang mengalir menuju ground (A)

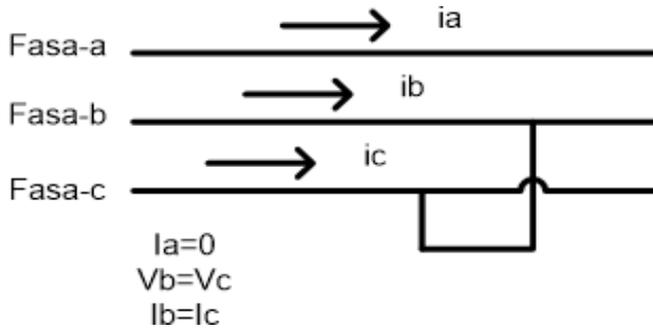
Perhitungan arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. maka dapat di hitung dengan menggunakan rumus:

$$I_{f \text{ 1 fasa}} = \frac{3 \times V_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

- V_{ph} = Tegangan fasa – netral (V)
- Z_{1eq} = Impedansi urutan positif (ohm)
- Z_{0eq} = Impedansi urutan nol (ohm)

2.4.2 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa



Gambar 2.7 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Keterangan :

- b = Tegangan fasa b (v)
- Vc = Tegangan fasa c (v)
- Ia = Gangguan arus fasa a (A)
- Ib = Gangguan arus fasa b (A)

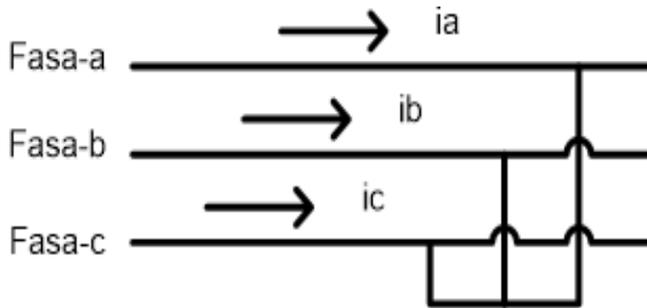
Perhitungan arus gangguan hubung singkat dua fasa. maka dapat di hitung dengan menggunakan rumus :

$$I_{f\ 2\ fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1eq}+Z_{2eq}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

- If 2fasa = Arus gangguan hubung singkat dua fasa (A)
- Vph - ph = Tegangan fasa – fasa (tegagan sisi trafo) (A)
- Z1eq = Impedansi urutan positif (ohm) V

2.4.3 Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa



Gambar. 2.8 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Keterangan

Ia = Arus yang mengalir pada fasa a (A)

Ib = Arus yang mengalir pada fasa b (A)

Ic = Arus yang mengalir pada fasa c (A)

Gangguan hubung singkat tiga fasa termasuk dalam klasifikasi gangguan simetris, dimana arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi [3]. Sehingga pada sistem seperti ini dapat dianalisa hanya dengan menggunakan komponen urutan positif saja yaitu :

$$I_{f \text{ 3 fasa}} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

$I_{f \text{ 3 fasa}}$ = Arus gangguan hubung singkat tiga fasa (A)

$V_{ph} - ph$ = Tegangan fasa – fasa (tegangan sisi trafo) (A)

Z_{1eq} = Impedansi ekivalen urutan positif (ohm)

2.5 *Overcurrent Relay (OCR)*

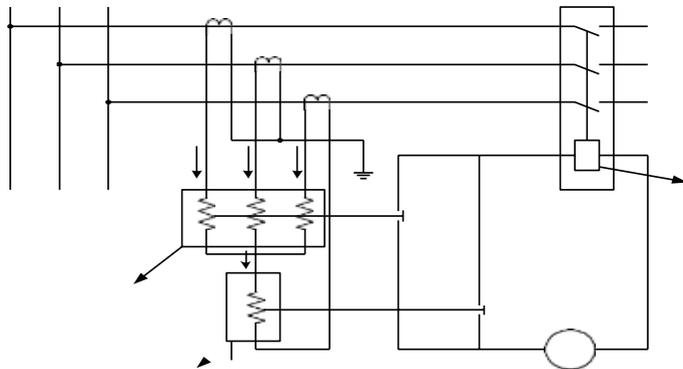
Relai arus lebih (OCR) Relai arus lebih merupakan sistem proteksi yang mendeteksi arus lebih yang terjadi antar fasa. Relai ini bekerja dengan cara membaca arus masukan yang mengalir melalui relai dan membandingkannya dengan nilai yang ditetapkan (Naparin, 2018). Jika nilai arus melebihi batas setpoint maka relay akan mengirimkan sinyal ke PMT untuk memutuskan jaringan. Relai akan beroperasi pada 2 situasi yaitu :

- a. Current drop (Id) merupakan nilai arus maksimum yang menyebabkan relai mati. Oleh karena itu, kontak akan dibuka kembali. Arus ini juga dikenal sebagai arus balik.
- b. Arus masuk (Ip) merupakan nilai arus minimum yang dapat mengoperasikan relai dan menutup kontak-kontaknya. Nilai arus ini disebut arus kerja. Menurut standar Inggris, kesalahan deteksi berkisar antara 1,05 hingga 1,5 per pengaturan saat ini.

Relai arus lebih disebut juga relai arus lebih, beroperasi bila terjadi hubung singkat sehingga arus bertambah sehingga disebut relai arus lebih. Relai arus lebih mempunyai dua kemampuan, yaitu relai arus lebih (OCR) dan relai gangguan tanah (GFR). Relai arus lebih dapat dikoordinasikan dengan relai lain atau dengan GFR untuk memberikan waktu tunda yang sebenarnya merupakan inti dari pengaturan relai sekaligus perhitungan pengaturan arus.

2.5.1 Prinsip Kerja OCR

Prinsip pengoperasian relai arus lebih didasarkan pada adanya relai yang mendeteksi arus lebih akibat hubungan pendek atau beban lebih, kemudian mengeluarkan perintah aktivasi ke PMT tergantung pada karakteristik waktunya.

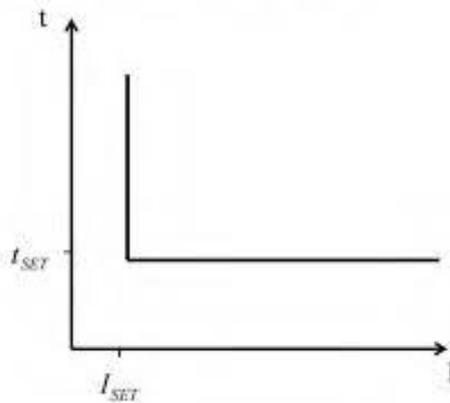


Gambar. 2.9 Rangkaian Pengawatan OCR dan GFR.

2.5.2 Jenis Relay Berdasarkan Karakteristik Waktu

1. Relai arus lebih sesaat

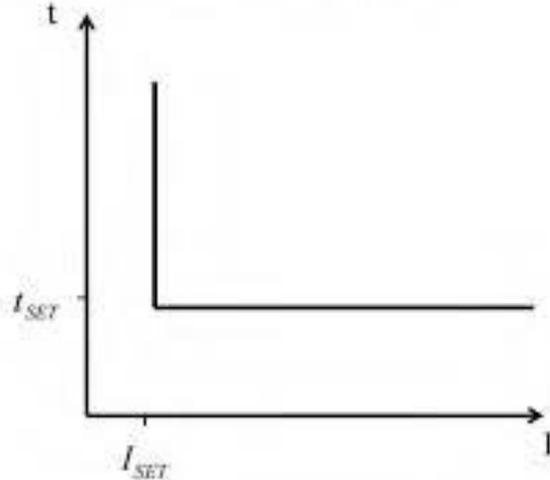
Relai arus lebih sesaat Merupakan relai arus lebih yang tidak mempunyai waktu tunda/waktu kerja sesaat selama waktu kerjanya (20-100ms).



Gambar 2.10 Karakteristik Waktu Seketika

2. Relai arus lebih pasti (waktu tertentu)

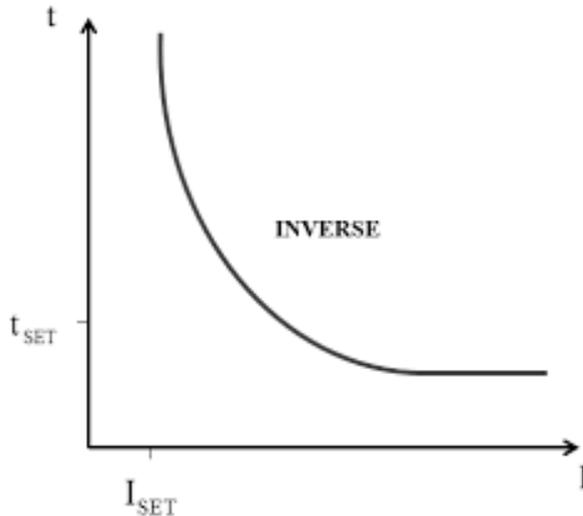
Relai arus lebih pasti Merupakan relai dengan waktu tunda tetap, tidak bergantung pada intensitas arus gangguan. Jika arus gangguan melebihi arus yang ditetapkan, berapa pun intensitas arus gangguannya, relai akan beroperasi selama waktu tertentu.



Gambar 2.11 Karakteristik Waktu Seketika

3. Relai Arus Lebih Balik (Inversi Waktu)

Relai Arus Lebih Balik merupakan rele tunda waktu yang karakteristiknya bergantung pada besarnya arus gangguan. Oleh karena itu, semakin tinggi arus gangguan maka semakin cepat pula waktu operasi rele. Arus gangguan berbanding terbalik dengan waktu operasi relai.



Gambar 2.12 Karakteristik Waktu Seketika

2.5.3 Setting Relay Arus Lebih (OCR)

Untuk memasang relai arus lebih terlebih dahulu pada sisi 150 kV dan sisi 20 kV, harus dihitung terlebih dahulu arus pengenal trafonya. dapat dihitung dengan rumus:

$$I_{base} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} \cdot V_{base}} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

I_{base} = Arus nominal (sesuai sisi transformator) (A)

S_{base} = Daya semu (KVA)

V_{base} = Tegangan (sesuai sisi transformator) (kV)

1. Arus setting relay arus lebih

Untuk mendapatkan nilai arus setting relay arus lebih dihitung menggunakan rumus :

$$I_{set} (sekunder) = 1,2 \times I_{nominal\ trafo} \dots\dots\dots(2.5)$$

Nilai tersebut adalah nilai primer, untuk mendapatkan nilai sekunder, maka dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$I_{set} (sekunder) = I_{set(primer)} \times \frac{1}{Rasio\ CT} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

Iset (primer) = Arus setting relay arus lebih sisi primer (A)

Inominal trafo = Nilai Arus Nominal Trafo (A)

Iset (sekunder) = Arus Setting relay arus lebih sisi sekunder (A)

2. Setting waktu (TMS) relay arus lebih untuk setting waktu TMS relay arus lebih dapat dihitung menggunakan rumus:

$$TMS = \frac{t x \{ \left[\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right]^{\alpha} - 1 \}}{\beta} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

t = Waktu operasi (s)

TMS = Time multiple setting (tanpa satuan)

B = Konstanta standart inverse

I fault = Arus gangguan hubung singkat (A) diambil dari arus gangguan hubung singkat 3 fasa

Iset = Arus setting primer pada relay (A)

α = konstanta standart inverse

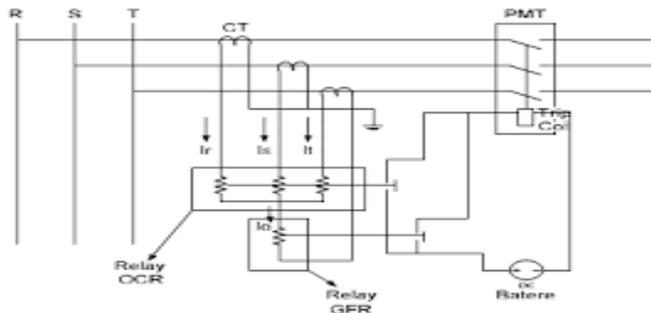
2.6 Ground Fault Relay (GFR)

Ground Fault Relay (GFR) pada dasarnya mempunyai prinsip kerja yang sama dengan relai arus lebih (OCR) namun memiliki perbedaan dalam kegunaannya. GFR mendeteksi melalui binary input yang ada pada relai sehingga memerintahkan binary output agar memberikan perintah jika adanya hubungan singkat ke tanah.

2.6.1 Prinsip Kerja GFR

Pada kondisi normal, beban seimbang I_r , I_s dan I_t mempunyai besar yang sama, sehingga tidak ada arus yang

muncul pada kabel netral dan tidak ada arus yang mengalir pada relay grounding. Jika terjadi ketidakseimbangan arus atau hubung singkat ke ground, maka akan muncul arus urutan nol pada kabel netral, sehingga ground relay akan beroperasi.



Gambar 2.13 Rangkaian pengawatan GFR

2.6.2 Setting Relay Gangguan Tanah (GFR)

1. Arus setting relay gangguan tanah

Untuk mendapatkan nilai arus setting relay gangguan tanah pada sisi 150 kV dan sisi 20 kV dihitung menggunakan rumus :

$$I_{set (primer)} = 6\% - 12\% \times I_{fault \ 1 \ fasa \ ketanah} \dots\dots(2.8)$$

Nilai tersebut adalah nilai primer, untuk mendapatkan nilai sekunder, maka dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$I_{set (sekunder)} = I_{set (primer)} \times \frac{1}{Rasio \ CT} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

Iset (primer) = Arus setting gangguan tanah sisi primer (A)

Ifault 1 fasa = Arus Gangguan 1 fasa ketanah (A)

Iset (sekunder) = Arus Setting relay hubung tanah sisi sekunder (A)

2. Setting waktu (TMS) relay gangguan tanah

untuk setting waktu TMS relay gangguan tanah dapat dihitung menggunakan rumus:

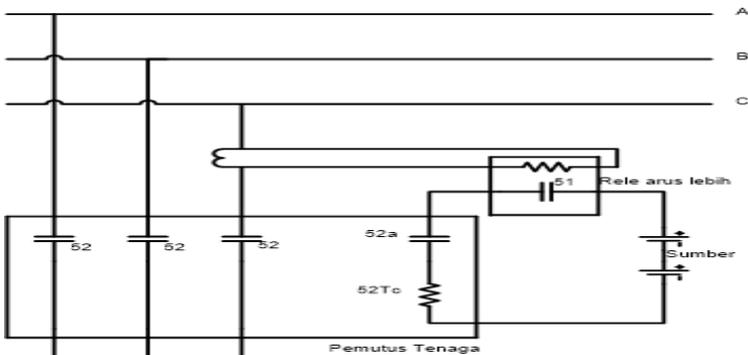
$$TMS = \frac{t x \left\{ \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right\}^{\alpha - 1}}{\beta} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana:

- t = Waktu operasi (s)
- TMS = Time multiple setting (tanpa satuan)
- B = Konstanta standart inverse
- I fault = Arus gangguan hubung singkat (A) diambil dari arus gangguan hubung singkat 3 fasa
- Iset = Arus setting primer pada relay (A)
- α = konstanta standart inverse

2.7 Sakelar Pemutus Tenaga (PMT)

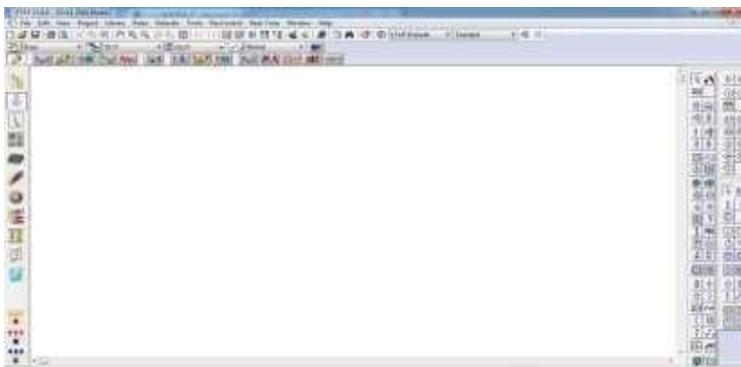
Power take-off switch (PMT) Berfungsi untuk menghubungkan dan memutus suatu rangkaian yang sedang berbeban (pada kondisi arus beban normal atau pada saat terjadi arus gangguan). Pada saat menyambung atau memutus suatu beban akan terjadi pemulihan tegangan khususnya tegangan lebih dan fenomena busur api, sehingga pemutus arus dilengkapi dengan alat pereduksi busur api seperti udara dan gas SF6. Jenis PMT berdasarkan media isolasi dan bahan dielektriknya dibagi menjadi empat jenis, yaitu: saklar PMT oli, saklar PMT udara, saklar PMT vakum, dan saklar udara SF6. Selain itu PMT juga dapat memutus arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi sehingga arus hubung singkat tidak merusak peralatan sistem sehingga menyebabkan sistem menjadi tidak stabil atau bahkan merusak pemutus arus. [11].



Gambar 2.14 Rangkaian Sederhana Rele dan Pemutus Tenaga

2.8 ETAP

ETAP (Electrical Transient Analysis Program) merupakan sebuah software yang berfungsi sebagai penganalisis sebuah sistem kelistrikan secara rinci. Mulai dari power, bahkan hingga network. ETAP 19. ini mampu bekerja secara offline untuk menganalisis load flow, short circuit, harmonic, maupun pengaman pada motor. *Etap* merupakan *softwer* full grafis yang dapat digunakan sebagai alat analisis untuk mendesain dan menguji kondisi sistem tenaga listrik yang ada. *ETAP* dapat digunakan untuk mensimulasikan system tenaga listrik secara *offline* dalam modul simulasi, monitoring data operasi secara *real time*, simulasi system *real time*, optimasi, manajemen energi system dan simulasi *intelligent load shedding*[4]. *ETAP* didesain untuk dapat menangani berbagai kondisi dan topologi system tenagalistrik baik disisi utility. Software ini dilengkapi dengan fasilitas untuk menunjang simulasi seperti jaringan AC dan DC (AC dan DC networks), desain jaringan kabel (*cable raceways*), grid pentanahan (*protective device coordination/selectivity*), dan AC/DC control system diagram.



Gambar 2.15 Tampilan Lembar Kerja *Software ETAP Power Station*